

Rapport technique

Conception d'un bâtiment institutionnel avec ossature
réciproque en bois et construction modulaire

Bibliothèque de Mont-Laurier

Préparé par Anna Ciari, ing. et Thibaut Lefort, ing.

Latéral Conseil Inc.

latéral.

(avec la participation de Pageau Morel et Chevalier Morales)

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme
d'innovation en construction bois

2024-08-31



Anna Ciari

Auteur



Thibaut Lefort

Réviseur



Thibaut Lefort

Titre de l'approbateur

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Ressources Naturelles et des Forêts (MRNF), ainsi que le Plan pour une Économie Verte 2030 (PEV) ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1.	Sommaire exécutif et synthèse de l'étude.....	3
2.	Introduction	4
2.1	Titre et lieu de réalisation du projet de construction.....	4
2.2	Description du projet de construction.....	4
3.	Détails de l'étude.....	7
3.1	Introduction et hypothèses de départ.....	7
3.2	Objectifs.....	8
3.3	Méthodologie	9
3.4	Résultats de l'analyse structurale	11
3.5	Intégration de la mécanique du bâtiment et l'acoustique	13
3.6	Conclusions	18
3.7	Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	19
3.8	Recommandations.....	19
4.	Bibliographie	19
5.	Annexes	20

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Le projet de construction de la Bibliothèque de Mont-Laurier se situe au 385 Rue du Pont, Mont-Laurier (Québec). Ce bâtiment innovant de deux étages, mesurant environ 20 m x 40 m, est composé d'une ossature réciproque en bois lamellé-collé. Cette structure modulaire est conçue pour faciliter la déconstruction et le recyclage, tout en offrant une résistance aux importantes charges de rayonnement de la bibliothèque.

Le projet met en avant un système de construction modulaire préfabriqué, où les éléments structuraux sont uniformisés, ce qui simplifie leur manipulation et leur installation. L'ossature réciproque répartit les charges sur les colonnes de façon bidirectionnelle, et la conception modulaire permet une adaptabilité à diverses configurations.

La séparation conséquente des systèmes techniques de la structure permet un accès facile durant l'utilisation aux fins de remplacer ou réparer des composants du système technique.

Les défis du projet incluent la conception complexe de l'ossature réciproque, l'optimisation des connexions pour permettre la déconstruction future, et la coordination des services électromécaniques avec la structure. De plus, des efforts importants ont été nécessaires pour modéliser le système en tenant compte des charges vives importantes et des conditions sismiques.

Le budget total du projet est de 11 millions de dollars avant taxes, avec une phase de construction prévue entre printemps 2024 et automne 2025. Les principaux partenaires incluent les architectes **Chevalier Morales** et les ingénieurs en mécanique de bâtiment **Pageau Morel**.

Les résultats de l'étude montrent que cette structure réciproque modulaire, conçue pour la déconstruction, est non seulement réalisable, mais également avantageuse du point de vue économique et écologique. Le projet de la Bibliothèque de Mont-Laurier pourrait servir de modèle pour d'autres projets d'économie circulaire, démontrant la viabilité de structures modulaires en bois conçues pour une déconstruction efficace, tout en intégrant des besoins architecturaux et électromécaniques spécifiques.

2. Introduction

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

- Titre du projet : Bibliothèque de Mont-Laurier
- Lieu du projet : 385 Rue du Pont, Mont-Laurier (QC), J9L 2R5

2.2 Description du projet de construction

2.2.1 Description de la structure du bâtiment

Le bâtiment de deux étages est de forme rectangulaire, avec des retraits, aux dimensions approximatives de 20 m x 40 m. Le toit est plat. La structure du plancher de l'étage et du toit est constituée de poutres en bois lamellé-collé. Les colonnes au rez-de-chaussée et à l'étage sont prévues sur une trame avec un espacement maximal qui est de 3.66 m. La structure du bâtiment repose sur un radier de 400 mm en béton armé. Le contreventement pour les charges latérales (vent et sismique) se fait par les murs en béton des deux cages d'escalier.

La particularité de la structure du toit et du plancher de l'étage et l'ossature réciproque, qui se compose d'éléments de charpente en bois lamellé-collé qui se croisent et se soutiennent mutuellement. Les pièces de l'ossature sont généralement de taille modeste (longueur typique de 2.44 m), ce qui facilite leur manipulation et leur installation. En travaillant avec des éléments de structure de taille unique, l'ossature réciproque est modulaire, ce qui signifie qu'elle peut être adaptée à différents types de bâtiments et de configurations. Dans cet esprit, les assemblages sont également uniformisés et conçus afin de faciliter l'installation des éléments sur place. L'ossature réciproque est efficace sur le plan structurel. Les poutres se croisent et s'assemblent l'une à l'autre pour former un grillage de plancher bidirectionnel qui répartit les charges uniformément sur l'ensemble de la structure.



Figure 1 : Visualisation de l'intérieur (par Chevalier Morales)

Les thèmes abordés dans cette étude seront :

- Ossature réciproque en gros bois d'œuvre
- Système préfabriqué modulaire
- Conception en vue de déconstruction et recyclage de la charpente (Design for Desconstruction / DfD)
- Séparation des systèmes

L'ossature réciproque est un système structurel rarement utilisé - notamment pour des projets institutionnels ou d'ampleur.

Notre démarche a nécessité des efforts supplémentaires afin de modéliser correctement le système, afin d'étudier l'effet de grandes charges vives (rayonnage de bibliothèque) ainsi que pour des charges vives débalancées, et des recherches sur les connexions et la méthode d'installation devront être entreprises. La réalisation d'un système intégré avec l'électromécanique et l'architecture nécessite des efforts considérables pour développer un système parfaitement adapté à ce type de construction, notamment au niveau de la rationalisation de l'aménagement selon la trame modulaire et les défis d'alignement générés, la conception des plafonds en caissons et le positionnement des équipements électromécaniques dans la courtépointe créée par l'ossature, le mobilier intégré à concevoir aussi en modules de 2' ou 4' et enfin une multitude de détails particuliers de jonction des finis aux poutres de bois et aux colonnes afin de permettre la déconstruction éventuelle.

2.2.2 Échéancier global et durée

Les étapes principales du projet sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Étape de réalisation	Date de début	Date de fin	Commentaire
Appel d'offres	2023-12-06	2024-02-15	réel
Phase de construction	2024-05-01	2025-05-01	planifié
Acceptation, Mise en service	2025-05-02	2025-06-30	planifié

2.2.3 Budget global

Le budget total du projet est 11 M\$ (avant taxes).

2.2.4 Partenaires

- L'architecture a été réalisée par la firme Chevalier Morales Architectes. L'ingénieur en électromécanique du projet est Pageau Morel et Associés.
- Matthias Oberholzer de Mass Timber Engineering a été consulté pour le design préliminaire des connexions et la faisabilité de l'installation de l'ossature réciproque.
- WSP a réalisé une étude sur l'acoustique du bâtiment.

2.2.5 Défis et risques généraux

Les défis du projet et les risques identifiés sont les suivants :

- Conception complexe d'une ossature réciproque :
Aucun guide de pratique n'existe actuellement pour la conception d'ossatures réciproques. De plus, aucun projet de mention n'existe ayant intégré une ossature réciproque en bois à un projet de bâtiment institutionnel.
- Calcul des connexions :
Conception des assemblages uniformisés dans tout le projet, en optimisant l'utilisation des ressources (bois et acier). Les connexions doivent permettre la déconstruction et la reconstruction éventuelle en réutilisant les membrures et les connexions.
- Système modulaire :
Le but était de développer un système modulaire, qui est facilement démontable et réutilisable pour un bâtiment d'une autre géométrie. Pour cette raison, l'uniformisation des membrures était

prioritaire à l'optimisation des membrures en termes d'utilisation de bois. La modularité nécessite également une séparation conséquente des systèmes afin de réduire au minimum les percements des membrures structurales.

- Charges importantes :

La structure doit être conçue pour une charge vive de 7.2 kPa (utilisation bibliothèque) au niveau du rez-de-chaussée et de l'étage. Cette charge doit être appliquée à la structure soit uniformément distribuée, soit débalancée.

- Coordination des services avec la structure et séparation des systèmes :

Coordination complexe des conduits de ventilation, de plomberie et de protection incendie à l'intérieur du bâtiment avec la structure et l'architecture. Une séparation conséquente des systèmes mécaniques de la structure était indispensable afin de concevoir une ossature modulaire.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

La conception d'un bâtiment institutionnel avec ossature réciproque en bois est une première au Québec. L'idée était de créer une structure modulaire, qui est entièrement préfabriquée et ainsi facile à installer et aussi complètement recyclable grâce au haut taux de répétition des membres.

La trame a été coordonnée en début de projet avec l'architecte afin de travailler d'une façon efficace et optimale avec une structure en gros bois d'œuvre. Elle est basée sur la dimension nominale de quatre pieds (4'-0"), qui correspond à la largeur typique d'un panneau de contreplaqué en Amérique du Nord. Ceci permet de prévoir un platelage en contreplaqué, sans pertes, réduisant ainsi considérablement les coûts de construction comparativement à des platelages plus coûteux tels que le CLT ou le GLT.

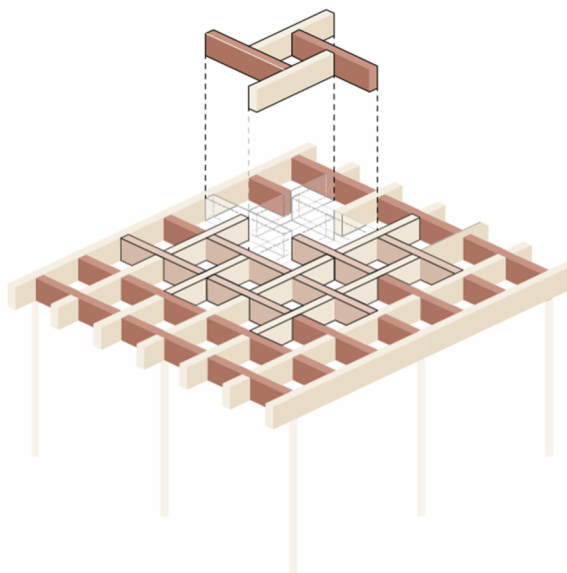


Figure 2 : Principe de l'ossature réciproque

3.2 Objectifs

L'objectif de l'étude est de démontrer la faisabilité et les avantages d'une ossature réciproque conçue pour la déconstruction, du point de vue structural, architectural, économique et écologique pour un bâtiment institutionnel.

- Structure : La structure du plancher doit être en mesure de supporter les charges vives élevées de 7.2 kPa, tel que requis pour une utilisation de rayonnage. Les charges doivent être considérées uniformément réparties ou débalancées, et ce en état ultime (capacité) et en état de service (déformations). Le développement des assemblages et le dimensionnement des poutres et colonnes sont interdépendants, et sont fortement influencés par l'architecture et la stratégie du système modulaire.
- Architecture : La structure doit intégrer architecturalement tous les services tels que l'éclairage, la protection incendie et la plomberie. Le bâtiment doit être un bâtiment signature avec une architecture intéressante et distinctive.
- Économie : La structure est conçue pour être complètement démontable et réutilisable, c'est-à-dire, les membrures et les assemblages sont uniformisés et créent un système modulaire afin de permettre une déconstruction et reconstruction à la fin de vie du bâtiment. Ceci permettra la revalorisation des ressources. La préfabrication de la structure réduit le temps d'installation et facilite l'installation.
- Écologie : L'objectif au niveau écologique est de réduire les émissions GES de la structure le plus possible en optimisant les membrures et les assemblages. L'idée de la reconstructibilité de la structure après la fin de vie de la bibliothèque contribue additionnellement à la réduction des émissions GES de la structure.

3.3 Méthodologie

La conception de la structure a été réalisée à l'aide des logiciels d'éléments finis, notamment de RFEM6 de Dlubal et ADA de Graitec. Ces logiciels permettent le calcul à l'état ultime et à l'état de service de la structure pour les charges déterminées.

La conception de la structure a été réalisée en se basant sur les normes suivantes :

- NBC 2015 : National Building Code of Canada
- CSA S16-19 : Design of steel structures
- CSA 086-19 : Engineering Design in Wood

La trame de la structure, qui détermine l'espacement et la longueur des poutres ainsi que l'espacement maximal des appuis de la structure sur les colonnes (3 baies), a été choisie au début du projet. La raison pour cette trame est en lien avec les dimensions typiques des panneaux de contreplaqué de 4'x8' (1220 mm x 2440 mm), comme montré dans l'image 1. Aussi dans la figure 1, le fonctionnement de l'ossature réciproque est montré.

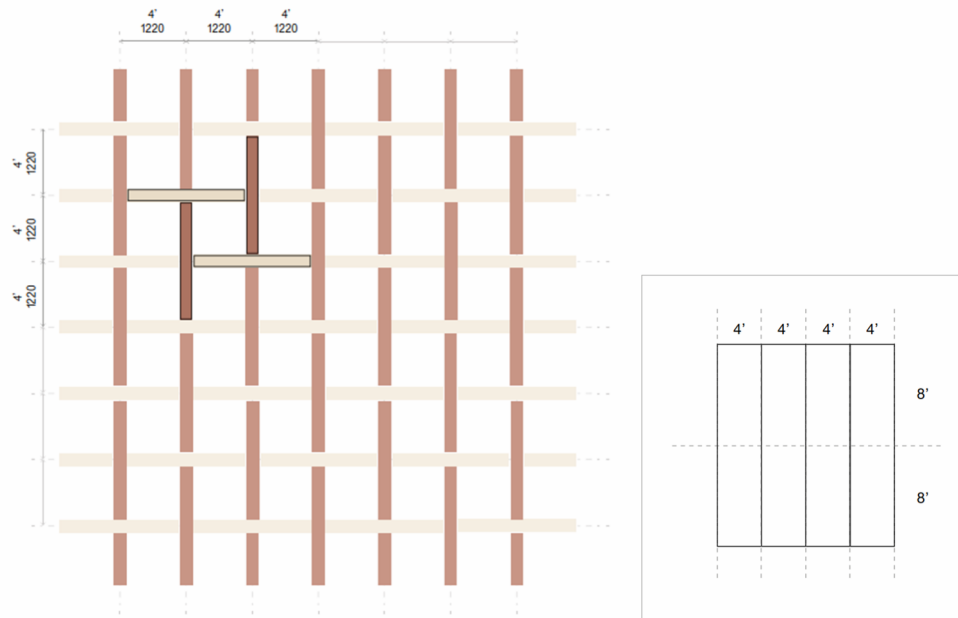


Figure 3 : Modularité basée sur des dimensions standard des panneaux

Sur la base de cette trame, les colonnes ont été placées en coordination avec l'architecture.

La prochaine étape était le dimensionnement des poutres en fonction des efforts, des déformations, des assemblages et des encoches et percements requis pour la mécanique du bâtiment (plomberie, électricité et gicleurs).

Les observations principales étaient :

- Les poutres du toit sont beaucoup moins sollicitées que celles de l'étage, ayant une charge vive de neige plutôt que des rayonnages.
- Les poutres au-dessus des colonnes sont beaucoup plus sollicitées que les autres éléments de l'ossature réciproque.
- L'application des charges vives débalancées a pour conséquence que certains assemblages ont un renversement des efforts en cisaillement.
- En raison de la nature du système réciproque qui n'a pas la distinction entre poutres primaires et poutres secondaires, l'assemblage ne peut pas être de type « dovetail », mais doit plutôt être de type étrier (plaque de cisaillement), permettant de transférer un effort en cisaillement vertical dans les deux directions (gravité et soulèvement).

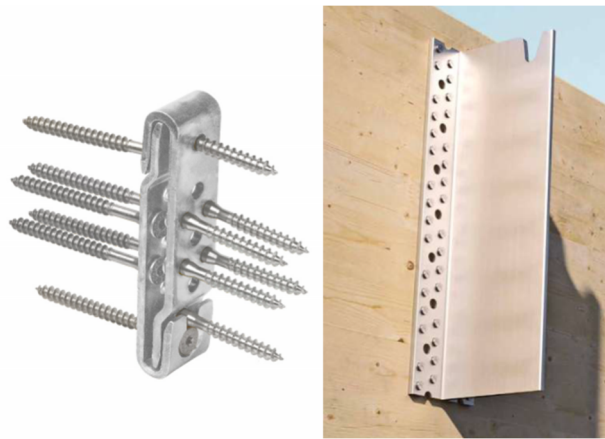


Figure 4 : Assemblage poutre-poutre de type « dovetail » (à gauche) et étrier Alumidi de Rothoblaas (à droite)

L'image ci-bas montre une partie de la structure modélisée dans ADA. Les poutres en blanc sont les poutres au-dessus des colonnes, qui sont donc plus sollicitées que les autres poutres.

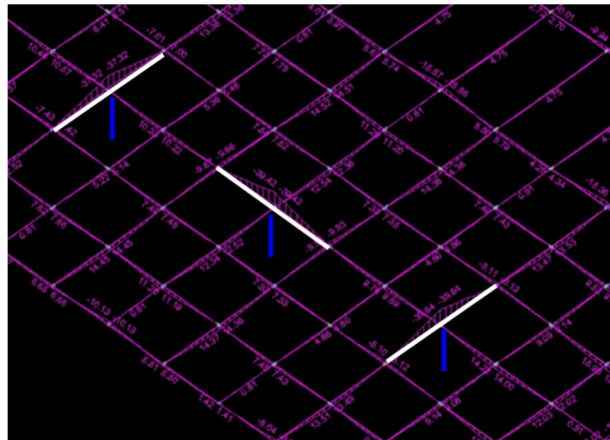


Figure 5 : modélisation de la structure en ADA, poutres fortement sollicitées au-dessus des colonnes en évidence

Dans l'esprit de créer un système modulaire facilement démontable et pouvant être réutilisé, les prémisses suivantes ont été définies :

- Toutes les poutres de la structure réciproque d'un niveau doivent avoir les mêmes dimensions, et idéalement le même grade de bois.
- Les assemblages typiques doivent permettre la réutilisation des membrures dans les deux niveaux. Il faut pouvoir dans un contexte de reconstruction assembler une membrure du toit à une membrure de l'étage par exemple.
- Seulement deux types d'assemblage typiques doivent être requis pour tout le bâtiment (exceptions : assemblages de rive et de coin)
- Les assemblages doivent être dissimulés (plaques d'âmes dans les poutres) et discrets.
- Les assemblages doivent être accessibles pour permettre leur désassemblage éventuel.

Ces prémisses avaient - entre autres - pour conséquence que **les poutres de l'étage et du toit devaient toutes avoir la même hauteur, mais pas nécessairement la même largeur afin de pouvoir utiliser les mêmes étriers aux deux niveaux.**

3.4 Résultats de l'analyse structurale

L'étude a démontré la faisabilité d'une structure réciproque modulaire, conçue pour la déconstruction pour un bâtiment institutionnel.

Assemblages :

Deux types d'assemblage poutre-poutre qui couvrent les besoins des connexions standard aux deux niveaux ont été développés. L'image ci-bas montre le type pour charges élevées à gauche avec deux rangées de goujons, et pour charges plus modestes à droite avec une seule rangée de goujons. Les capacités des deux types sont de 100 kN/50 kN en cisaillement. La plaque d'âme de l'étrier est symétrique. Cependant, la plaque vissée sur la poutre perpendiculaire est percée de façon asymétrique afin d'éviter les conflits des vis du haut et bas de l'assemblage.

Les poutres ayant la même hauteur aux deux niveaux seront ainsi toutes assemblées avec les mêmes plaques de connexion. Seule la longueur des goujons varie entre l'étage et le toit en raison de la différence de largeur des poutres. Cependant, la position des goujons par rapport à l'axe des poutres demeure la même, afin de permettre un assemblage entre poutres de largeurs différentes lors d'une reconstruction éventuelle.

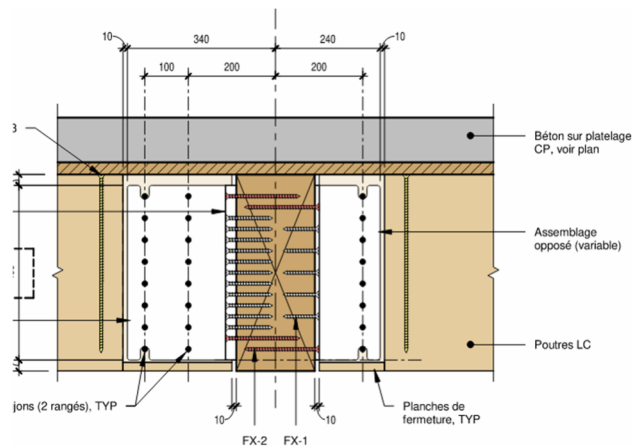


Figure 6 : Extrait des plans pour construction en structure. Étrier standard typique

Un seul type d'assemblage poutre – colonne est préconisé pour toutes les colonnes intérieures (voir image ci-bas). Seuls les assemblages aux rives et aux coins du plancher/toit nécessitent une variante de cet assemblage.

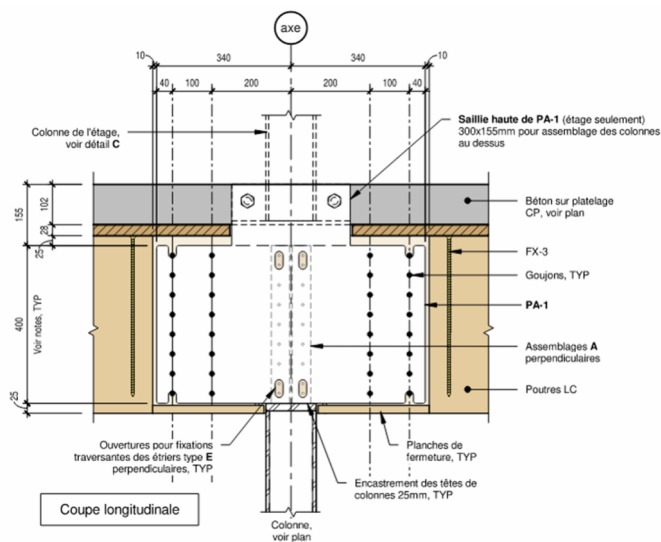


Figure 7 : Assemblage typique colonne - poutre

Membrures :

Lors du dimensionnement des poutres, le fabricant du bois était inconnu. Cela impliquait que ni le grade du bois, ni les dimensions exactes des poutres n'étaient connues au moment de la conception. Il fallait donc considérer les contraintes de production de plusieurs fournisseurs pour la conception de la structure de bois et s'assurer que l'architecture et les dimensions des colonnes permettaient une fourniture de la structure de bois par chacun de ces fournisseurs.

Lors de la production des plans pour appel d'offres, quatre options de fourniture de structure de bois ont été fournies. Les plans ont été produits avec des dimensions nominales des membrures, et ensuite adaptés aux dimensions du fournisseur choisi.

Dimensions nominales ⁽¹⁾	Dimensions équivalentes des différents fabricants/fournisseurs ⁽¹⁾			
	20f-E(X) ⁽²⁾	24f-ES/NPG ⁽²⁾	20f-E(X) ⁽²⁾	20f-E(X) ⁽²⁾

Figure 8 : Tableau des dimensions équivalentes des membrures selon fabricant

Le dimensionnement des poutres était un processus plutôt complexe et interdisciplinaire en raison de plusieurs facteurs, notamment :

- Les tailles et les emplacements des encoches et des percements pour la plomberie et les gicleurs qui étaient inévitables et devraient être considérés lors de la conception
- Présence de certaines irrégularités dans la position des colonnes
- Exigences architecturales

À la fin de ce processus, les poutres typiques de l'étage ont pour dimensions 180 mm x 450 mm et celles du toit 130 mm x 450 mm (dimensions nominales). Le fournisseur choisi à l'issue de l'appel d'offres public est Nordic Structures/Chantiers Chibougamau, donc les dimensions construites – en grade 24f-ES/NPG seront :

- Poutres de l'étage : 184 x 445 mm
- Poutres du toit : 137 x 445 mm

Coût :

Le rapport « poids d'acier des assemblages versus volume de bois » est pour ce projet plus élevé que pour des structures en bois lamellé-collé standard en raison de la quantité importante d'assemblages. Néanmoins, le coût total de la structure est similaire à celui pour d'autres bâtiments en bois lamellé-collé de taille et de complexité similaires. Cela implique que l'utilisation d'une ossature réciproque est efficace et économique.

3.5 Intégration de la mécanique du bâtiment et l'acoustique

3.5.1 Description du concept en électromécanique

Dans plusieurs projets de construction, l'élément électromécanique nécessitant davantage d'espace est la distribution de l'air dans un système de ventilation. La distribution de l'air dans un système de ventilation sont entre autres, les unités de ventilation, les gaines de ventilation, les boîtes terminales et les grilles de ventilation.

Dans le projet de la bibliothèque de Mont-Laurier, deux unités de ventilation se séparent la charge de travail afin d'alimenter de l'air conditionné dans l'édifice. La sélection de deux unités au lieu d'une seule permet d'avoir deux points de départ permettant ainsi de réduire la dimension des gaines.

Les gaines d'alimentation de ventilation sont positionnées dans des planchers surélevés en deux configurations. Pour les endroits susceptibles d'avoir des variations de température dues à des changements dynamiques de l'environnement tel que les rayons du soleil à travers les fenêtres, des ventilateurs terminaux avec des gaines de ventilation jusqu'à la grille d'alimentation ont été prévus pour combattre ces charges d'énergie. Pour le reste de l'édifice, le plancher surélevé est utilisé comme plénum d'alimentation. C'est-à-dire qu'aucune gaine n'est utilisée et l'espace dans le plancher est utilisé comme une gaine. Ainsi, l'espace est optimisé.

Avec l'objectif de restreindre l'encombrement de la distribution de la ventilation dû à l'espace limité, les stratégies de conception de la ventilation ont permis de libérer les plafonds.

Une coordination plus étroite était nécessaire afin d'incorporer les éléments électromécaniques dans la structure de bois. Des encoches dans la structure ont dû être prévues afin de permettre des conduits électriques et des conduits de protection incendie. Pour les items mécaniques exigeants davantage d'espace tel que la ventilation, ces derniers ont été dissimulés à l'aide d'un plancher surélevé, permettant ainsi d'épurer la quantité de mécanique au plafond et de mettre en évidence la structure de bois innovante.

3.5.2 Coordination mécanique du bâtiment avec l'architecture et la structure

L'équipe de conception s'est donnée comme contrainte qu'aucun système ou composante électromécanique ne soient installés sous la structure et apparents afin de laisser place à l'expression de la structure de bois. Les stratégies telles que le plancher surélevé au niveau du rez-de-chaussée et à l'étage et la planification des caissons au plafond ont été mises en place afin de répondre à cette exigence pour l'intégration des services. Figure 9 montre les différentes

composantes du bâtiment au niveau structure, mécanique et architecture.

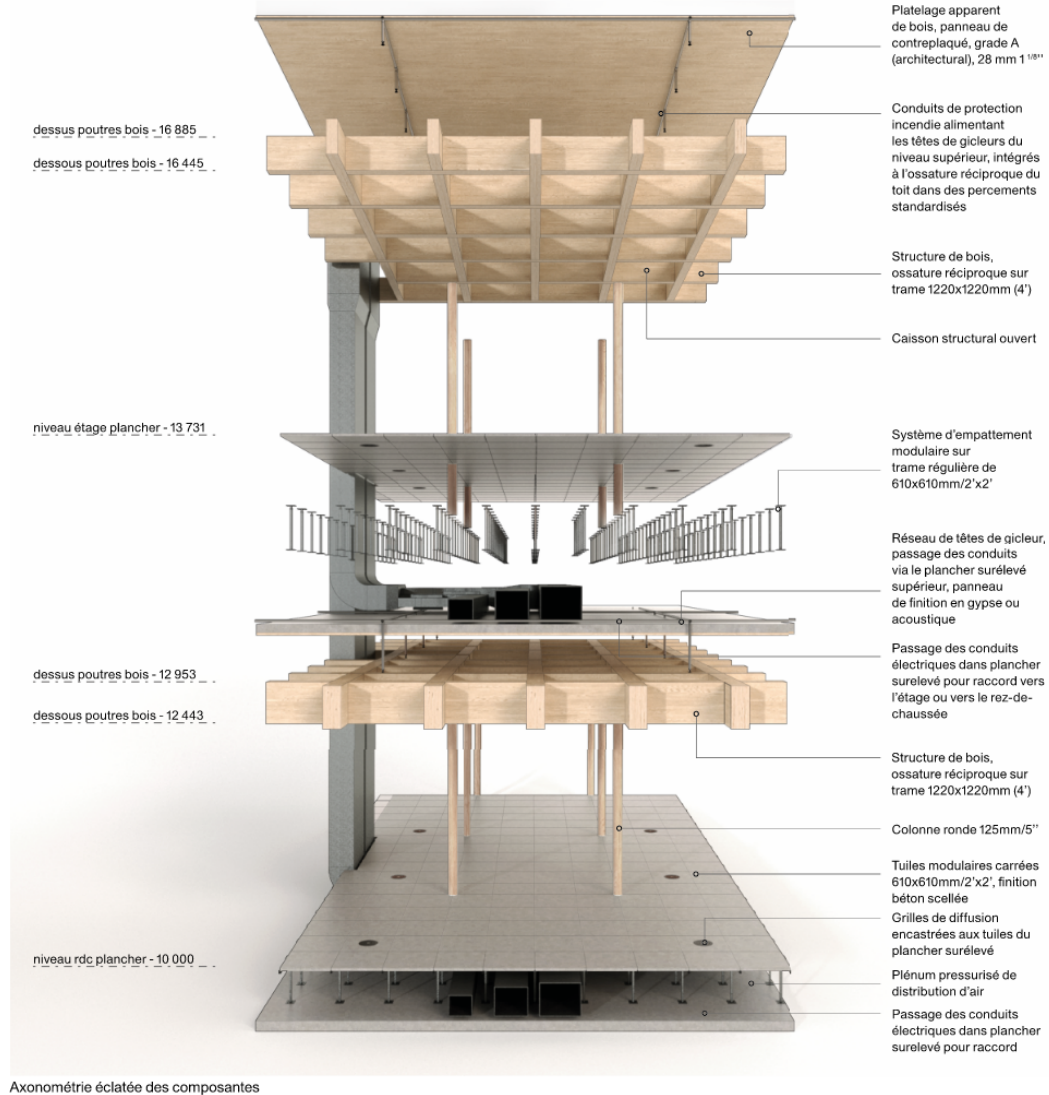


Figure 9 : Axonométrie des composantes du bâtiment. La mécanique du bâtiment est située exclusivement dans les planchers surélevés.

3.5.2.1 Plancher technique modulaire :

Ce plancher permet l'intégration des suivantes services du bâtiment :

- Système de protection incendie
- Distribution des gaines de ventilation
- Passage de conduits électriques
- Approche intégrée d'éclairage
- Acoustique

Le système du plancher surélevé qui sera installé vient de l'entreprise Tate. La hauteur de l'espace générée par le plancher surélevé est – selon l'emplacement – entre 630 mm et 1000 mm.

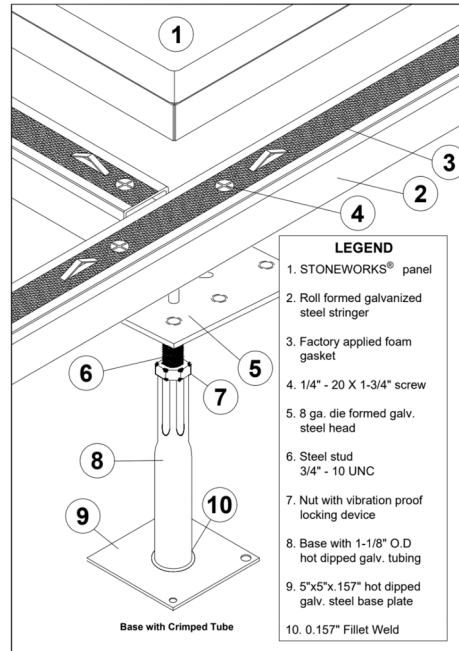


Figure 10 : Extrait des dessins d'atelier du plancher surélevé (par Tate)

3.5.2.2 Caissons de plafond :

Chacun des caissons a été dessiné et coordonné afin d'assurer l'intégration des services tout en assurant l'acoustique et en conserver l'aspect esthétique. Ayant comme objectif de mieux intégrer les éléments principaux de mécanique, une 'autoroute' de services est proposée à même l'ossature réciproque à l'étage.

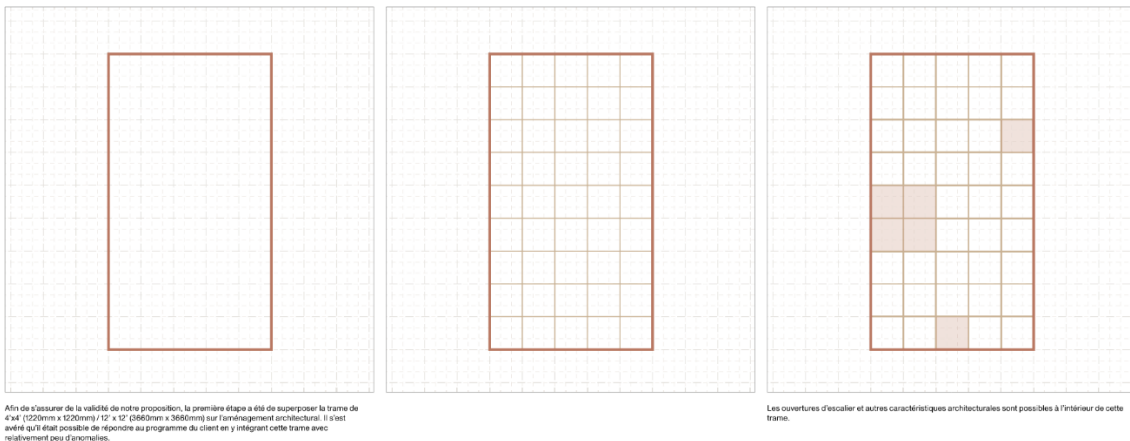
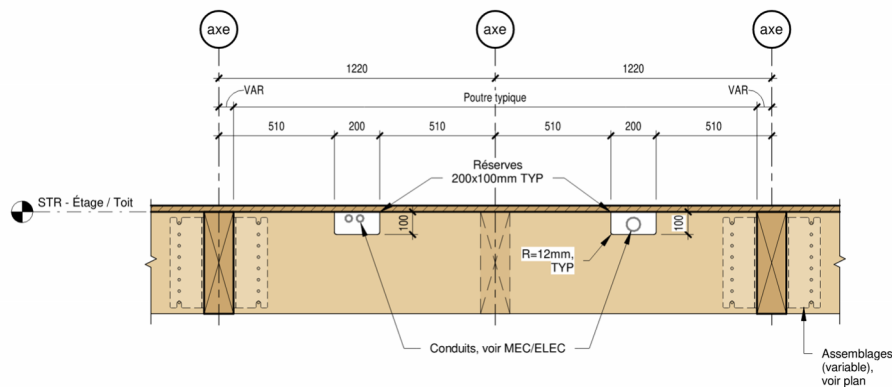


Figure 11 : trame de structure comme base pour l'aménagement architectural

3.5.2.3 Passages en structure

Il n'était pas possible de faire passer tous les services dans les planchers surélevés du rez-de-chaussée et de l'étage.

Notamment, pour l'installation des gicleurs et des câbles d'électricité au niveau du toit, des petites réserves typiques, coupées en usine, ont été prévues au centre de chaque baie de 1220 mm, sur le dessus de toutes les poutres. Cette solution permet l'installation des gicleurs après l'installation du contreplaqué du toit et facilite la coordination. Ces encoches et percements ont été considérés dans le dimensionnement des poutres.



Même si presque tous les services passent dans l'espace entre structure et plancher surélevé, il y a un petit nombre des percements de poutres au niveau du plancher de l'étage qui étaient inévitables.

3.5.3 Acoustique

Afin de combler les exigences élevées de la bibliothèque du point de vue acoustique, une étude détaillée a été faite par WSP sur le traitement de la réverbération dans les locaux à l'aide d'une simulation 3D. Le temps de réverbération d'une pièce ou d'un espace est défini comme le temps nécessaire au son pour décliner de 60 dB. À la suite de l'analyse, des recommandations ont été formulées afin d'éviter un sentiment d'inconfort de la part des usagers.

Des recommandations différentes ont été données selon l'usage de la pièce. Voici les différentes situations qui ont été analysées :

- Espaces ouverts : La stratégie acoustique constitue des panneaux acoustiques au plafond. Des compromis ont été faits par rapport à leur nombre pour des raisons budgétaires.

- Bureaux privés : Traitement absorbant au plafond à pleine surface
- Salle créative : Traitement absorbant sur les murs et au plafond. Des recommandations ont aussi été données sur l'orientation de la salle.
- Salon silencieux : traitement absorbant au plafond à pleine surface.
- Salle de travail et salle audio : traitement absorbant au plafond

Une attention particulière a également été apportée sur l'isolation des bruits provenant des différents systèmes de la mécanique du bâtiment et de la plomberie afin de respecter les limites de bruits permises dans les différents lieux du bâtiment. En plus, des panneaux perforés seront intégrés autour des gicleurs. Ce traitement permettra de réduire davantage le temps de réverbération dans chaque local.

Dans les extraits des plans en Annexe 1 de ce rapport, l'emplacement des panneaux acoustiques aux plafonds est montré.

3.5.4 Défis de coordination

Plusieurs défis architecturaux et d'intégration ont été relevés à la suite de la définition du système modulaire sur trame régulière supportée des éléments porteurs identiques et répétitifs. La trame demandait une coordination fine de tous les vides verticaux et horizontaux ainsi que les systèmes transporteurs dont l'ascenseur et les cages d'escaliers. Actuellement, des dessins d'intégrations sont mis en œuvre de concert avec l'entrepreneur général et ses sous-traitants étant donné la complexité du projet et de manière à assurer une intégration sans faille au chantier. La trame des piédestaux du plancher surélevé requiert que la mécanique n'ait pas une largeur supérieure à 600mm pour le passage des conduits.

3.6 Conclusions

La structure conçue répond aux objectifs et aux exigences définies au début du projet.

La structure réciproque est un système modulaire, avec un taux de répétition très élevé. La structure étant entièrement préfabriquée, et la taille et le poids des poutres étant modestes, l'installation est relativement simple malgré la grande quantité de morceaux à assembler.

L'uniformisation des membrures et des assemblages permettra, conjointement à l'inventaire des morceaux qui sera préparé par le fabricant de bois, une déconstruction et reconstruction à la fin de

vie du bâtiment. Cette revalorisation des ressources pourra contribuer significativement à la réduction des émissions GES dans le secteur de la construction.

Le système a été finement coordonné avec les besoins en architecture et en électromécanique. Le « système » qui en résulte pourra être réutilisé de façon modulaire dans des projets futurs.

3.7 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie

Nous sommes à un tournant important du point de vue du développement durable des structures en gros bois d'œuvre. Il est actuellement difficile de recycler des structures en bois massif. Le développement d'une structure modulaire répétitive permettra de démontrer à l'industrie de la construction qu'il est possible de construire un bâtiment modulaire, conçu pour la déconstruction, qui intègre parfaitement l'architecture et les services, tout en étant économique et architecturalement marquant. Le projet de la Bibliothèque de Mont-Laurier pourra servir de modèle et de tremplin pour développer d'autres projets d'économie circulaire.

3.8 Recommandations

Ce type de structure est très efficace en raison de son comportement bidirectionnel. Plus d'études pourraient être sur les trames optimales (espacement poutres et colonnes) et selon les charges appliquées.

L'uniformisation rigoureuse des poutres résulte en un surdimensionnement de l'ensemble de la structure qui pourrait être optimisée. Éventuellement, les poutres au-dessus des colonnes pourraient être exceptées du dimensionnement de la poutre typique ou même réalisées en acier afin d'optimiser davantage le système.

D'autres types d'assemblages (connexions) pourraient être explorés afin de réduire la quantité d'acier du projet, et afin d'accélérer l'installation au chantier.

4. Bibliographie

Conseil National de recherche de Canada. Code National du Bâtiment - Canada 2015, CNRC 56190F

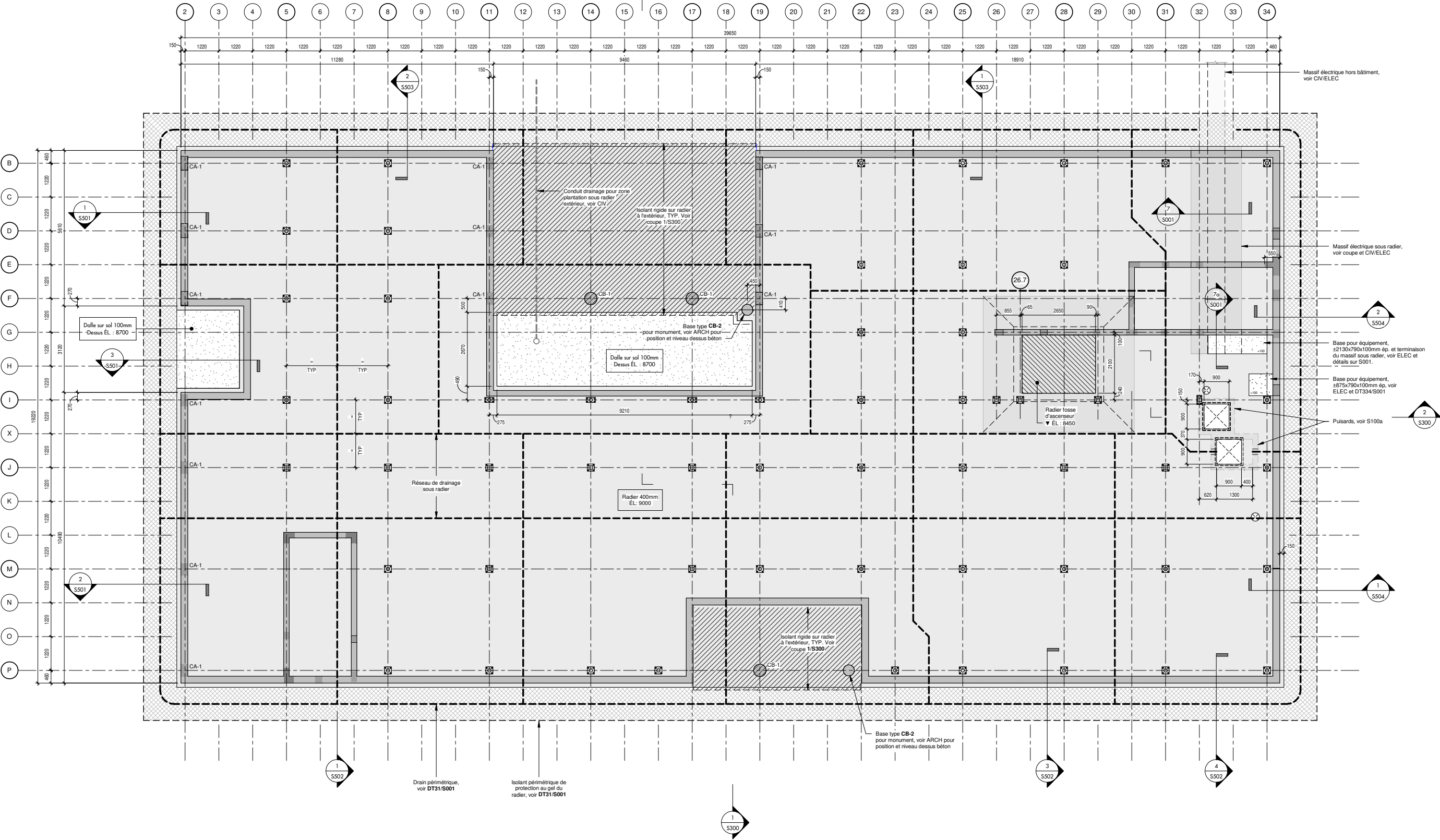
CSA Group. CSA 086-19. National Standard Canada. Engineering design in wood.

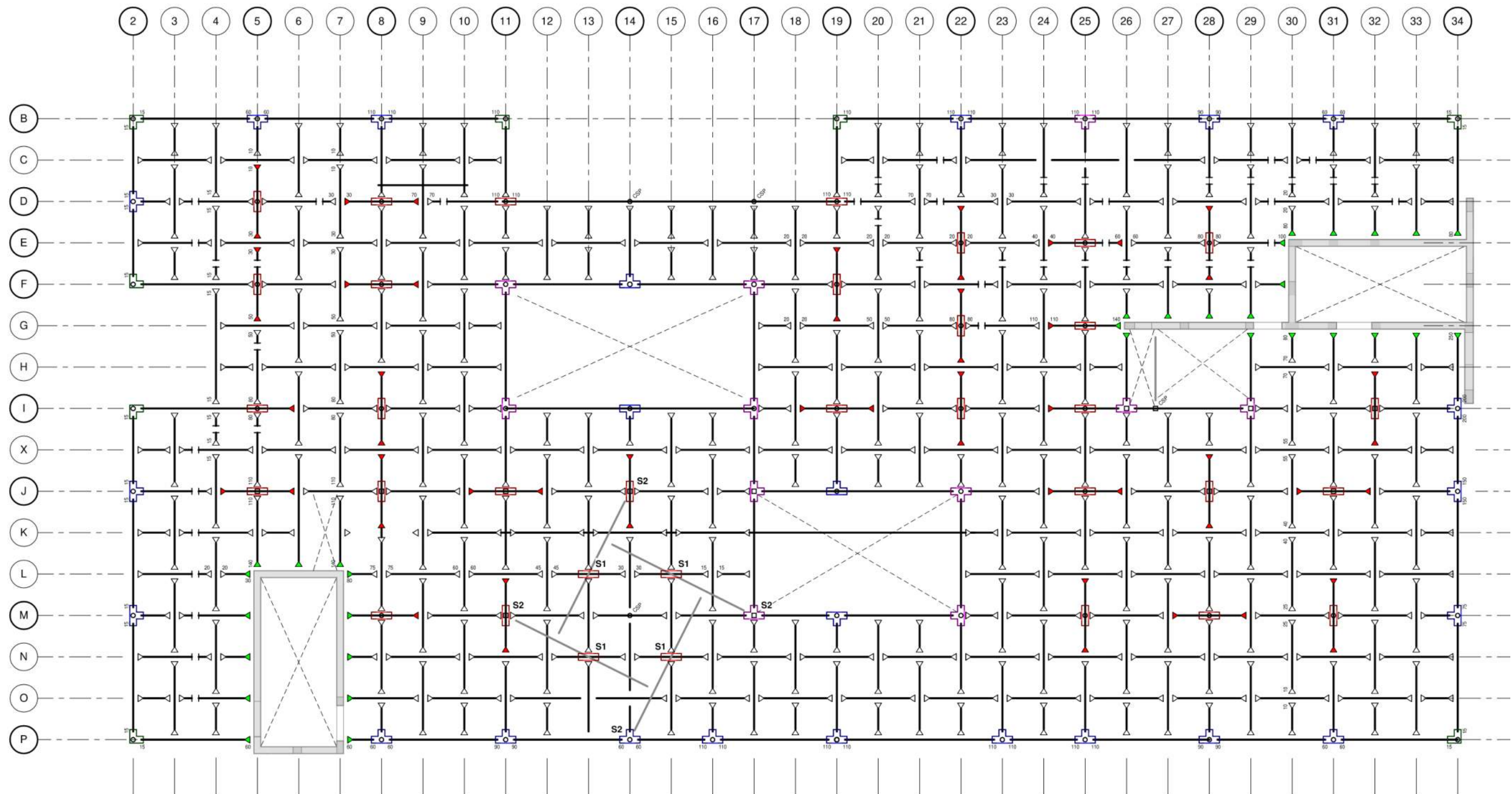
5. Annexes

Annexe 1 : Extraits des plans pour appel d'offres du projet (structures, architecture, électromécanique)

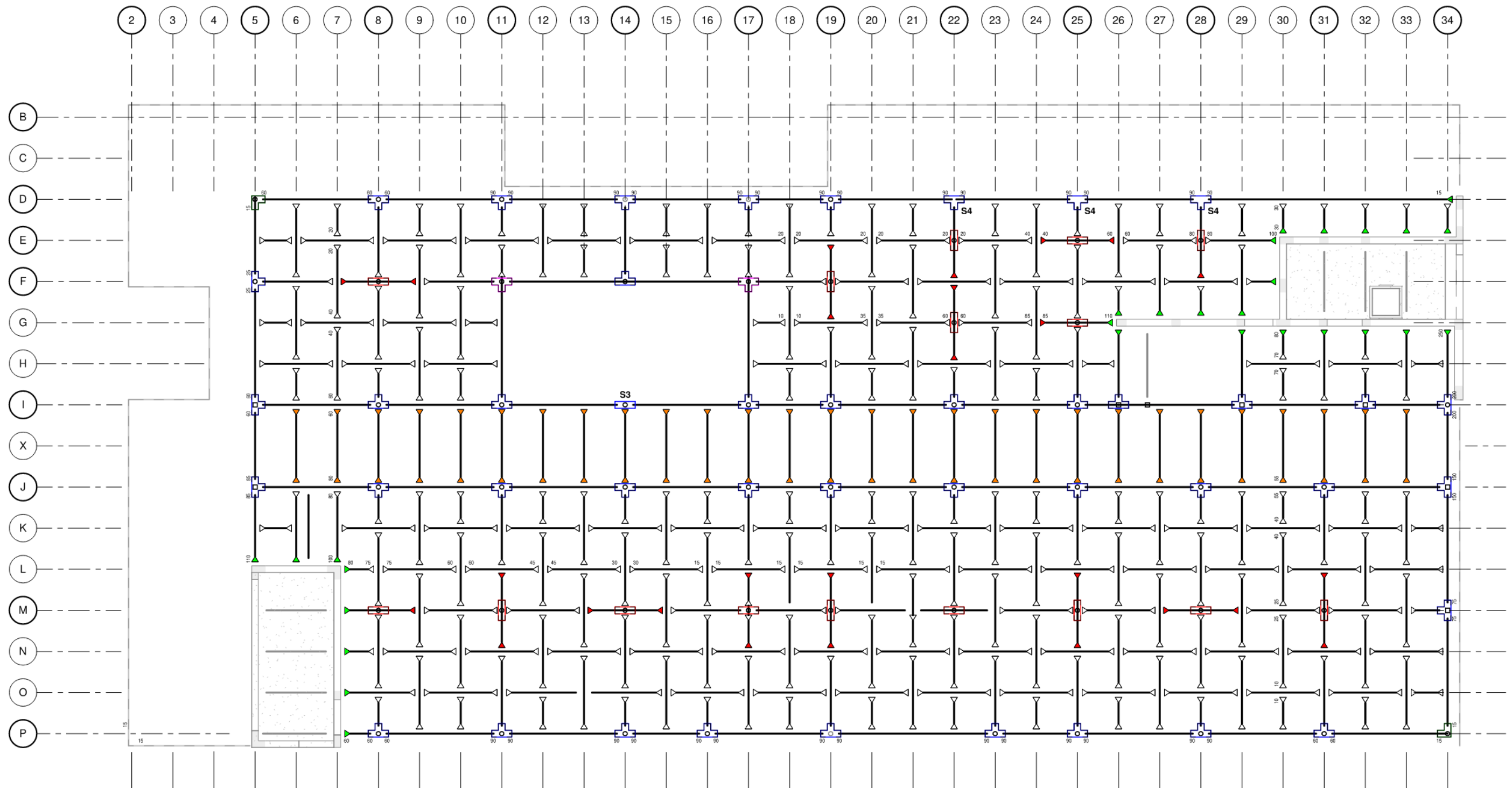
Annexe 1

Annexe au rapport technique :
Conception d'un bâtiment institutionnel avec ossature réciproque en bois et construction modulaire
du 11 octobre 2024



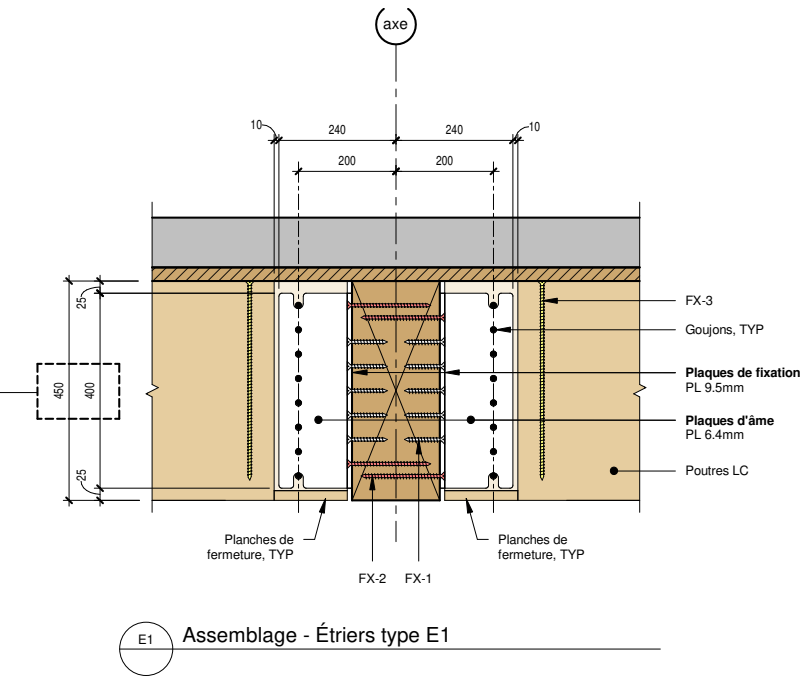
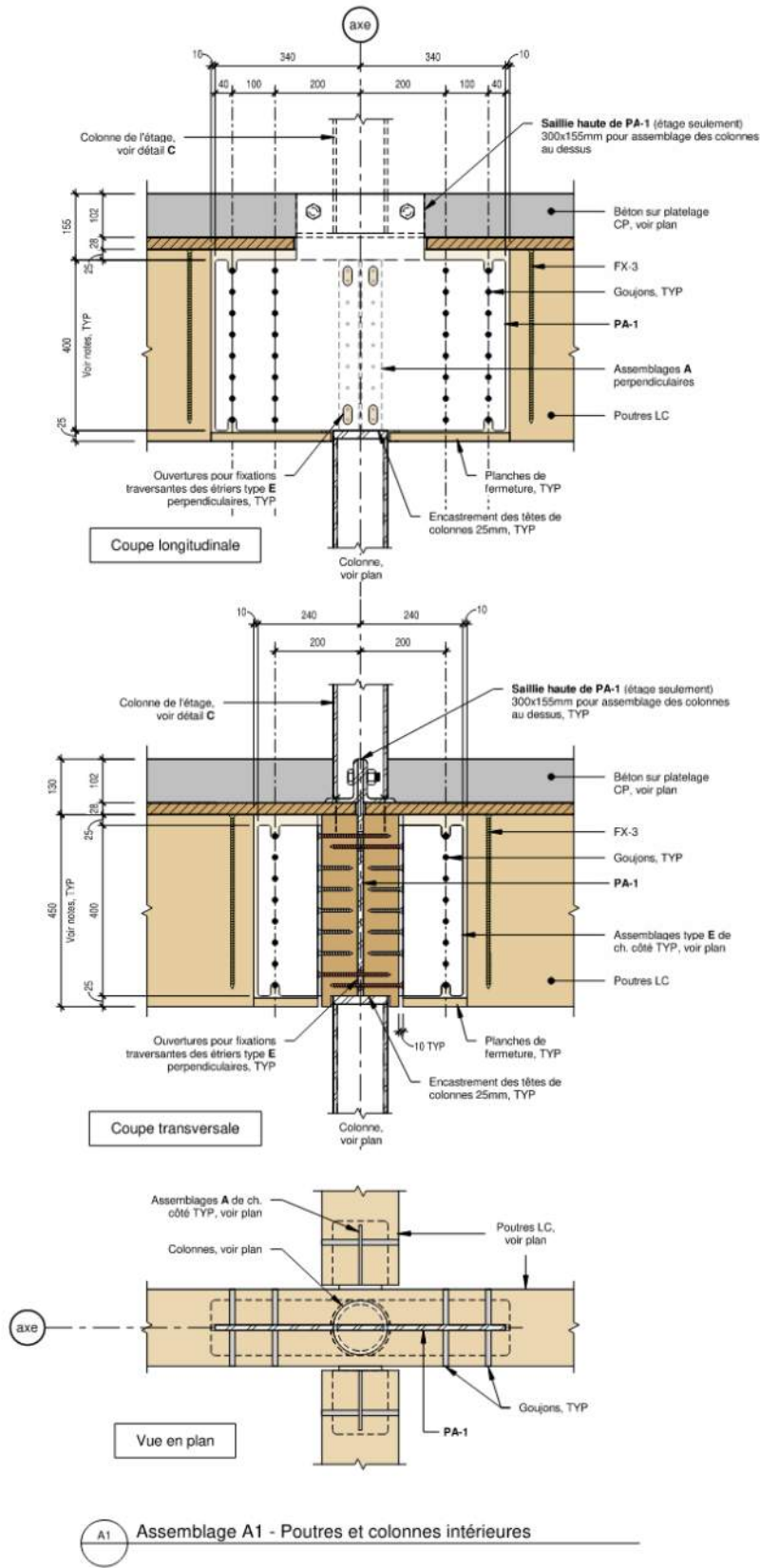
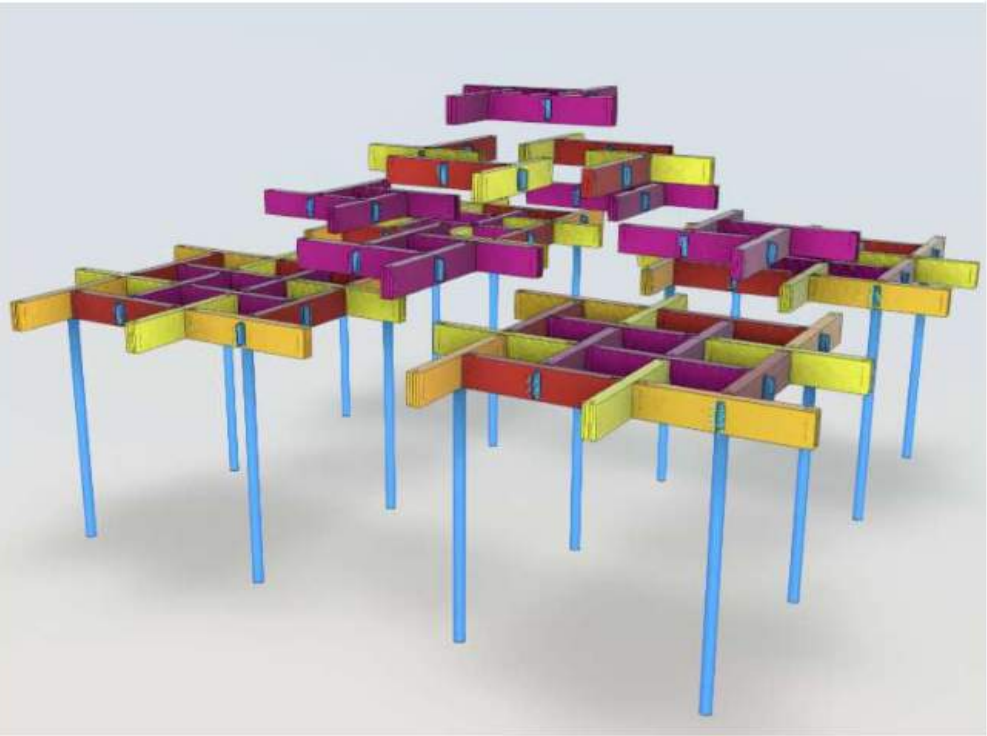
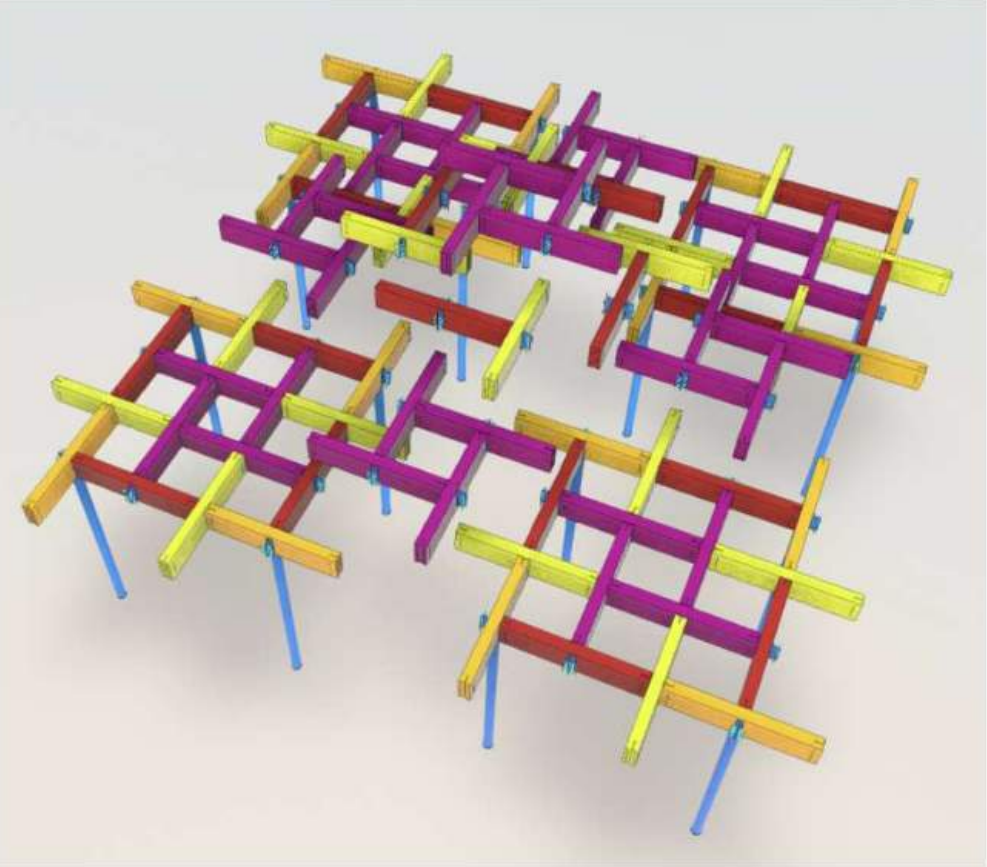


1 Plan des assemblages LC - Étage
S102 échelle : 1 : 100



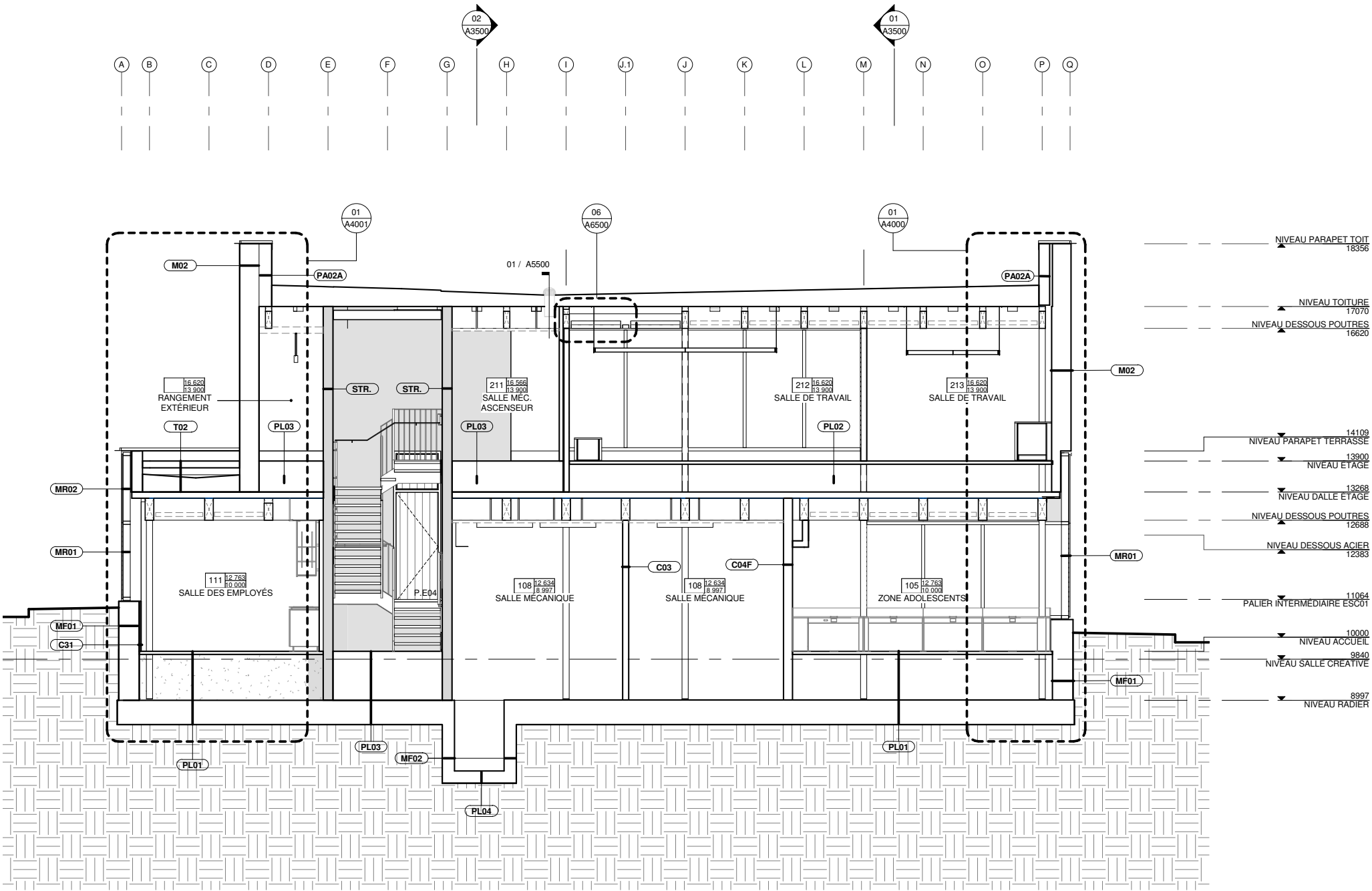
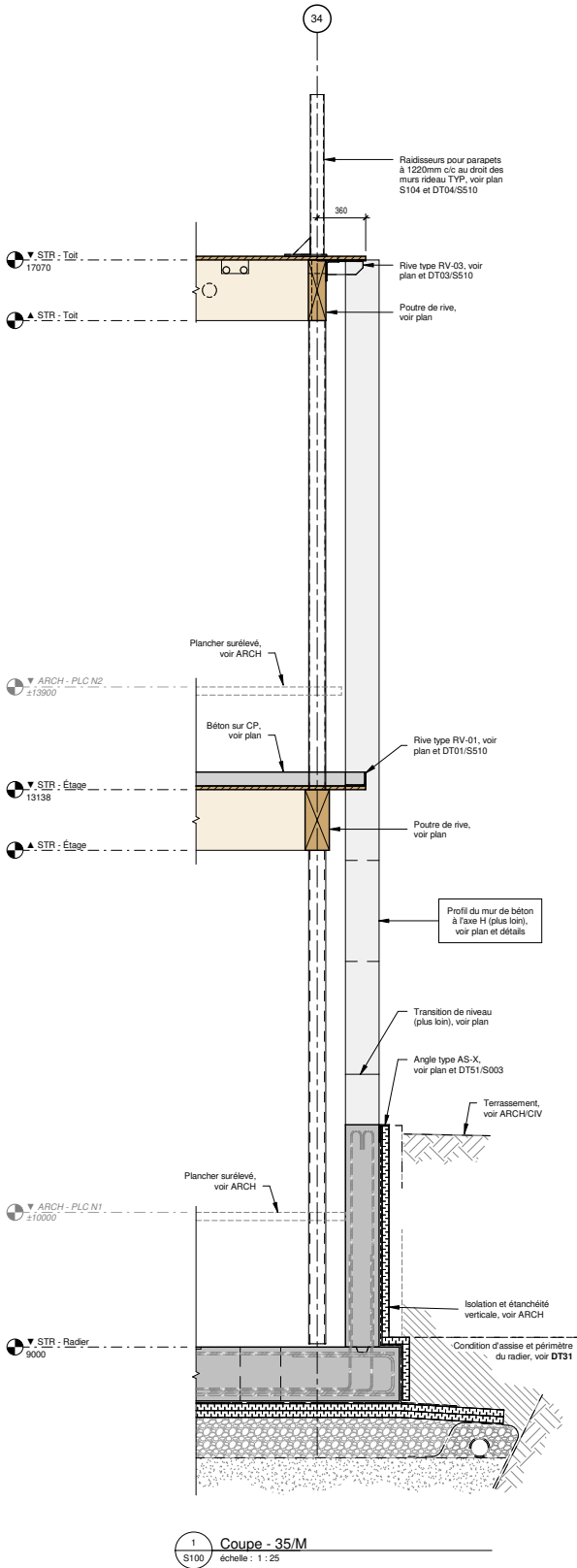
2 Plan des assemblages LC - Toit
S200 échelle : 1 : 100

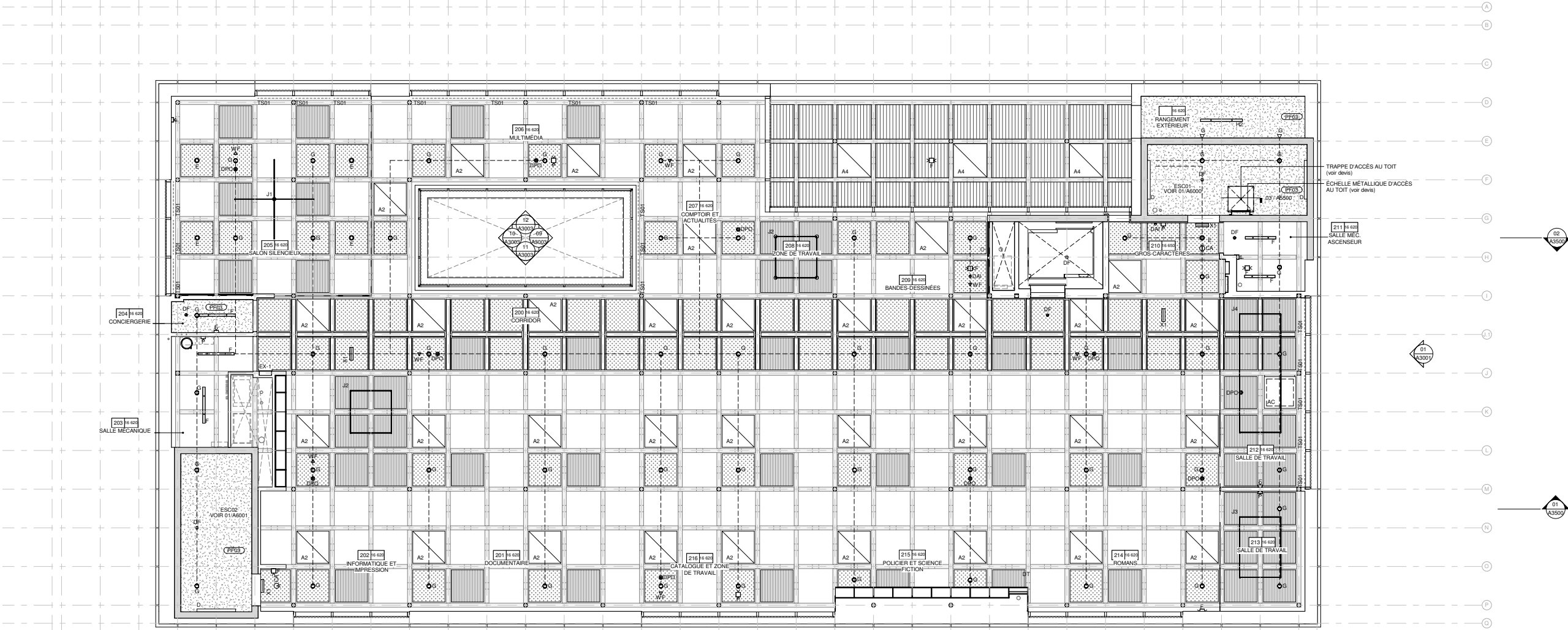
Proposition d'installation

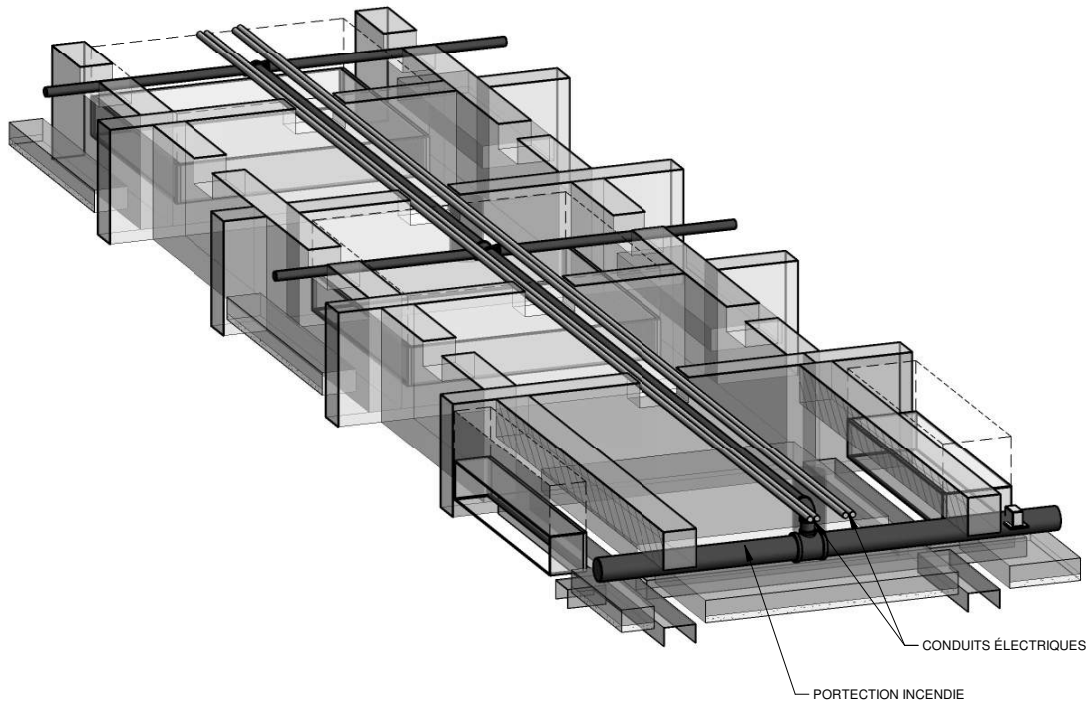


Coupe typique en structure + coupe en architecture

Extrait des plans pour appel d'offres

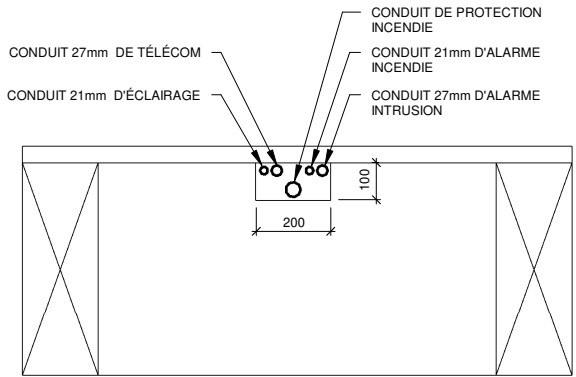






PASSAGE DES CONDUITS TYPIQUE DANS LES ENCOCHES
DES POUTRES EN BOIS

VUE 3D 1
ÉCHELLE: AUCUNE



NOTES:
1 - LES CONDUITS ÉLECTRIQUES DOIVENT PASSER DE PART ET D'AUTRE DU CONDUIT DE PROTECTION INCENDIE.
2 - LES CONDUITS ÉLECTRIQUES DOIVENT ÊTRE REGROUPÉS ET LE PARCOURS DOIT ÊTRE RÉDUIT AU MINIMUM. L'UTILISATION DES ENCOCHES DOIT ÊTRE PRÉCONISÉ MALGRÉ LE FAIT QUE LES PARCOURS SOIENT ALLONGÉS.

PASSAGE DES CONDUITS TYPIQUE DANS LES ENCOCHES
DES POUTRES EN BOIS

DÉTAIL 2
ÉCHELLE: AUCUNE